饲料亚麻酸含量对大规格鲈鱼生长性能、抗氧化指标和血清生化指标的影响

王成强[1,2]　徐后国[1]　梁萌青[1*]　郑珂珂[1]　柳　茜[1,2]

(1.中国水产科学研究院黄海水产研究所，青岛 266071；2.上海海洋大学水产与生命学院，上海 201306)

摘　要：本试验旨在探讨饲料亚麻酸(ALA)含量对大规格鲈鱼生长性能和血清生化指标的影响，以确定大规格鲈鱼饲料中 ALA 的适宜含量。通过在基础饲料中添加苏子油，制成 ALA 含量分别为饲料干重 0.06%、0.99%、2.03%、3.18%、4.12%和 5.08%的 6 种等氮等脂的试验饲料。将上述试验饲料投喂初始体重为（207.77±0.64）g 的鲈鱼，每个饲料设 3 个重复，每个重复放养 20 尾鱼，养殖周期为 12 周。结果表明：1）特定生长率(SGR)和饲料效率(FE)随饲料 ALA 含量的升高均呈先升高后降低的趋势，且 SGR 和 FE 均在 2.03%ALA 组有最大值，同时 2.03%与 3.18%ALA 组的 SGR 和 FE 差异不显著(P>0.05)；肝体指数(HSI)与脏体指数(VSI)均在 5.08%ALA 组达到最大值，且显著高于 0.06%ALA 组(P<0.05)；存活率(SR)和肥满度(CF)在各组之间无显著差异(P>0.05)。2）随着饲料中 ALA 含量的升高，鱼体粗蛋白质含量表现为逐渐下降的趋势，粗脂肪含量呈现增加趋势，4.12%和 5.08%ALA 组鱼体粗蛋白质含量显著低于 0.06%ALA 组(P<0.05)，而 4.12%和 5.08%ALA 组鱼体粗脂肪含量则显著高于 0.06%、0.99%、2.03%、3.18%ALA 组(P<0.05)；不同组之间鱼体的水分与粗灰分含量无显著差异(P>0.05)。3）2.03%ALA 组血清和肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)活性与 3.18%ALA 组无显著差异(P>0.05)，但显著高于 0.06%与 5.08%ALA 组(P<0.05)。2.03%、3.18%ALA 组血清中 MDA 含量显著低于 0.06%和 5.08%ALA 组(P<0.05)；同时，肝脏中 MDA 含量在 2.03%ALA 组达到最低，除与 3.18%ALA 组无显著差异(P>0.05)外，显著低于其他各组

收稿日期：2016-04-11
基金项目：农业公益性行业专项(201003200)；中国博士后科学基金第八批特别资助项目(2015T80763)
作者简介：王成强(1988-)，山东潍坊人，硕士研究生，研究方向为水产动物营养。E-mail：chengqiangwang@126.com
*通信作者：梁萌青，研究员，硕士生导师，E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

(P<0.05)。4）血清中谷草转氨酶(GOT)和谷丙转氨酶(GPT)活性均在 2.03%ALA 组最低，且显著低于 0.06%与 5.08%ALA 组(P<0.05)；血清中甘油三酯(TG)和胆固醇(CHOL)含量在 4.12%ALA 组有最大值，且显著高于 0.06%ALA 组(P<0.05)；随着饲料中 ALA 含量的升高，血清中高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量呈先升高后降低趋势，2.03%、3.18%、4.12%ALA 组显著高于其他组(P<0.05)。综上所述，饲料中适宜含量(2.03%~3.18%)的 ALA 能够促进大规格鲈鱼的生长，提高抗氧化能力与肝脏健康水平；以 SGR 与 FE 作为评价指标，经二次曲线回归分析得出体重为 207.77~406.94 g 的鲈鱼饲料中 ALA 的适宜含量分别为饲料干重的 2.53%和 2.72%。

关键词：大规格鲈鱼；亚麻酸；生长性能；血清生化指标；抗氧化能力

中图分类号：S963　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

亚麻酸(α-linolenic acid，ALA)是一种 n-3 系列多不饱和脂肪酸，主要来源于苏子油、亚麻籽油等植物油，在促进动物生长、增强免疫力、改善肉质和降低血脂等方面具有重要作用[1-2]。相关研究表明，部分淡水鱼能够利用 ALA 通过去饱和作用及碳链延长作用转化为机体所必需的 n-3 系列长链多不饱和脂肪酸来满足自身需求[3-4]。而海水鱼和广盐性鱼类的这种转化能力相对较弱，但是也有研究证实用富含 ALA 的植物油替代一定比例的鱼油时，部分海水鱼和广盐性鱼类的生长与存活不会受到影响，甚至也会起到一定的促进作用[5-6]。

关于鱼类对 ALA 需求量的研究，主要集中在淡水鱼上。姜召山等[7]在鲫鱼的研究中指出，ALA 含量为 0.5%的饲料能够显著提高鲫鱼的特定生长率和饲料效率；Bogut 等[8]报道，欧洲六须鲇对 ALA 的需求量为 1%；关勇[9]研究表明，饲料中添加 1.2%的 ALA 时，罗非鱼得到最佳的生长效果。而在海水鱼和广盐性鱼上，因为其必需脂肪酸是高不饱和脂肪酸[(花生四烯酸（ARA）、二十碳五烯酸（EPA）和二十二碳六烯酸（DHA)]，因此高不饱和脂肪酸的需求量研究在海水鱼和广盐性鱼类中报道较多，但是在 ALA 方面，众多试验主要是以替代鱼油为基础开展[10-11]，关于海水鱼和广盐性鱼类对 ALA 的需求量仍是有待于进一步研

究。同时，血清生化指标是反映机体健康与否的重要指标，近年来在大菱鲆[10]、鲤鱼[12]、墨瑞鳕[13]等研究中均证实，饲料中不同 ALA 添加量能够影响试验鱼血清生化指标的变化，进而对机体和肝脏健康造成一定的影响。

鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)属于鲈形目鮨科花鲈属，俗称花鲈、花寨、伴鲈等，属于广盐性鱼类，其生长速度较快，并且具有较高的经济价值，因此成为我国沿海养殖地区一种重要的养殖鱼类。至今，关于鲈鱼脂肪酸方面的研究已有众多报道，但是在大规格鲈鱼中，关于 ALA 对其生长、抗氧化能力及肝脏健康方面的研究较为匮乏。因此，本研究通过配制不同 ALA 含量的饲料，研究饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼生长、抗氧化指标及血清生化指标的影响，并确定大规格鲈鱼对 ALA 的最适需求量，旨在为广盐性鱼类对 ALA 的营养学研究提供一定的理论基础，并进一步完善鲈鱼营养学参数数据库。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、豆粕和酪蛋白为主要蛋白质源，以小麦粉为主要糖源，配制粗蛋白质含量约为 44%、粗脂肪含量约为 12%的基础饲料，在此基础上，分别添加 0、2%、4%、6%、8%和 10%的苏子油(江苏天凯生物科技有限公司产品，主要脂肪酸组成：C16:0，5.96%；C18:0，2.63%；C18:1n-9，21.18%；C18:2n-6，14.61%；C18:3n-3，54.85%)，以硬脂酸甘油三酯(江苏天凯生物科技有限公司产品，主要脂肪酸组成：C14:0，2.56%；C16:0，27.74%；C18:0，64.27%)进行配平，制成 6 种等氮等脂的试验饲料。通过气相色谱分析，ALA 在 6 种试验饲料中的含量分别为饲料干重的 0.06%（对照）、0.99%、2.03%、3.18%、4.12%和 5.08%，并分别命名为 A1 组、A2 组、A3 组、A4 组、A5 组和 A6 组。试验饲料组成及营养水平见表 1，试验饲料的脂肪酸组成见表 2。各种饲料原料均经过粉碎之后，再按照配比从小到大逐级定量均匀混合，随后将苏子油与干粉充分混匀，之后加水制粒，颗粒制成后，放置于烘箱中，50 ℃左右烘干，保存于阴凉干燥处备用。

表 1　试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1　Composition and nutrition levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	组别 Groups					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
豆粕 Soybean meal	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
小麦粉 Wheat meal	30.55	30.55	30.55	30.55	30.55	30.55
酪蛋白 Casein	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
明胶 Gelatin	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
维生素预混料 Vitamin premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料 Mineral premix2)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素 C Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
诱食剂 Attracrant3)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
防霉剂 Mold inhibitor	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
苏子油 Perilla oil	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
硬脂酸甘油三酯 Tristearin	10.00	8.00	6.00	4.00	2.00	0.00

合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels						
粗蛋白质 CP	44.87	44.01	44.63	44.18	44.34	44.46
粗脂肪 EE	11.78	11.71	12.15	12.52	12.42	11.66
粗灰分 Ash	7.59	7.55	7.66	7.73	7.66	7.66
亚麻酸 ALA	0.06	0.99	2.03	3.18	4.12	5.04

[1)]每千克维生生素预混料含有 Contained the following per kg of vitamin premix：VA 1 200 000 IU，VD 300 000 IU，VE 5 000 mg，VB_1 3 000 mg，VB_2 2 000 mg，VB_6 800 mg，VB_{12} 5 mg，VC 20 000 mg，VK 33 000 mg，生物素 biotin 30 mg，肌醇 inositol 10 000 mg，叶酸 folic acid 300 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 3 000 mg，烟酸 nicotinic acid 3 000 mg。

[2)]每千克矿物质预混料含有 Contained the following per kg of mineral premix：Cu 1 500 mg，Se 25 mg，Fe 5 000 mg，Co 500 mg，I 150 mg，Zn 2 000 mg。

[3)]诱食剂组成 Composition of attractants：甘氨酸 glycine+甜菜碱 betaine。

表 2 试验饲料脂肪酸组成(相对比例)

Table 2 Fatty acid composition of experimental diets (relative proportion) %

项目	组别 Groups					
Items	A1	A2	A3	A4	A5	A6
C14:0	2.94	2.59	2.26	1.84	1.48	1.17
C16:0	27.26	24.11	20.73	17.19	13.43	10.43
C18:0	54.43	45.21	35.25	25.07	14.60	3.98
ΣSFA	84.62	71.91	58.24	44.09	29.54	15.58
C16:1n-7	0.86	0.86	0.89	0.92	0.91	0.95

C18:1n-9	2.89	6.31	9.77	13.42	16.76	21.14
∑MUFA	3.76	7.17	10.66	14.34	17.68	21.09
C18:2n-6	3.77	5.94	8.30	10.81	12.90	15.96
∑n-6 PUFA	3.77	5.94	8.30	10.81	12.90	15.96
C18:3n-3	0.51	8.48	16.72	25.39	33.17	43.54
C20:5n-3	1.49	1.57	1.60	1.60	1.69	1.57
C22:6n-3	1.74	1.83	1.81	1.78	1.75	1.85
∑n-3 PUFA	3.83	11.88	20.13	28.79	36.55	46.96
∑PUFA	7.59	17.82	28.43	39.60	49.45	62.92
∑n-3 LC-PUFA	3.32	3.40	3.41	3.39	3.38	3.42
∑n-3 PUFA /∑n-6 PUFA	1.02	2.00	2.43	2.6	2.83	2.94

SFA：饱和脂肪酸；MUFA：单不饱和脂肪酸；n-6 PUFA：n-6 系列多不饱和脂肪酸；n-3 PUFA：n-3 系列多不饱和脂肪酸；LC-PUFA：长链多不饱和脂肪酸。

SFA: saturated fatty acids; MUFA: mono-unsaturated fatty acids; n-6 PUFA: n-6 poly-unsaturated fatty acids; n-3 PUFA: n-3 poly-unsaturated fatty acid; LC-PUFA: long-chain polyunsaturated fatty acids.

1.2　试验用鱼及养殖管理

养殖地点是浙江省象山港湾苗种有限公司，养殖方式为海水浮式网箱养殖，养殖周期为 12 周，试验用鲈鱼为前 1 年人工培育的同一批苗种(宁波象山县一养殖户提供)。首先将所有试验用鱼放置于大网箱(3.0 m×3.0 m×3.0 m)中，用对照组饲料暂养 15 d，使其适应试验饲料和养殖环境。试验开始前，将试验鱼饥饿 24 h，然后用丁香酚麻醉(1:10 000)后称重。大小均一的鲈鱼[初始均重为（207.77±0.64) g]被随机分到 18 个养殖网箱(1.5 m×1.5 m×2.0 m)中，

每个网箱放置 20 尾鲈鱼，每种试验饲料投喂 3 个网箱（重复），每天在规定时间(06:00 和 17:00)各投喂 1 次。试验期间，水温为 23.0~30.5 ℃，盐度为 26‰~31‰，溶解氧浓度为 6.5 mg/L 左右。

1.3 样品收集

12 周的养殖试验结束时，将试验鱼饥饿 24 h，然后对每个网箱中的试验鱼进行计数和称重。之后，从每个养殖网箱中随机取出 3 尾鲈鱼，密封袋装好，将其放置于-20 ℃冰柜中进行保存，用于全鱼常规营养成分的分析。另外，分别从每个养殖网箱中随机取 5 尾鲈鱼，进行解剖取样，分别取肝脏、肌肉、肠道等组织，组织取好后将装有组织的离心管迅速置于液氮中速冻，之后将这些冷冻好的样品保存于-80 ℃超低温冰箱中备用。从每个养殖网箱中随机取出 4 尾鲈鱼，采用尾部静脉取血法取出约 1.5 mL 血液，4 ℃静置 4 h，3 000 r/min 离心 10 min，轻轻将血清吸出，-80 ℃保存备用。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能

存活率(SR，%)=100×终末鱼尾数/初使鱼尾数；

增重率(WGR，%)=100×(终末体重-初始体重)/初始体重；

特定生长率(SGR，%/d)=100×[ln 终末体重-ln 初始体重]/试验天数；

饲料效率(FE)= (终末体重–初始体重)/摄食饲料干重；

肝体指数(HSI，%)=100×肝脏湿重/体重；

脏体指数(VSI，%)=100×内脏湿重/体重；

肥满度(CF，%)=100×体重/体长 ^{3}(体重单位：g；体长单位：cm)。

1.4.2 抗氧化指标和血清生化指标

血清和肝脏中丙二醛(MDA)含量与超氧化物歧化酶(SOD)活性采用南京建成生物工程研究所生产的相应试剂盒测得。

血清生化指标经全自动生化分析仪(BS-200，迈瑞医疗国际股份有限公司生产)使用其配套试剂盒测得，测定指标有谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、碱性磷酸酶(AKP)活性及甘油三酯(TG)、胆固醇(CHOL)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量。

1.4.3 鱼体及组织常规组成

样品的水分与粗灰分含量均利用失重法测定；粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(VELP UDK-142 全自动凯氏定氮仪，意大利)测定；粗脂肪含量采用索氏抽提法(FOSS 索氏抽提仪 SOXTEC-2050，瑞典)测定。

1.4.4 饲料脂肪酸组成

饲料的脂肪酸组成的测定参考 Mourente 等[14]的气相色谱法(HP-6890 plus 气相色谱仪，美国)，并稍作修改，具体操作如下：取 100 mg 冷冻干燥后磨碎的样品，置于 15 mL 的顶空进样玻璃瓶中，加入 1 mol/L KOH-甲醇溶液 3 ml，放在 75 ℃水浴中加热 20 min，冷却至室温后，加入 2 mol/L HCl-甲醇溶液 3 mL，放在 75 ℃水浴中加热 20 min，冷却之后加入 1.5 mL 正己烷(色谱级)，振荡萃取，静置分层。小心吸取上层正己烷和脂肪酸甲酯的混合物，用微量进样器吸取 1 μL 注入气象色谱仪(HP5890Π，美国)中，采用火焰电离检测器检测。最后，根据标准脂肪酸出峰时间确定样品中脂肪酸的种类，通过峰面积归一法进行相对比例测定。

1.5 数据处理与分析

试验结果用平均值±标准误(mean±SE)来表示，同时试验数据用 SPSS 19.0 软件分析，先对试验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，若有显著差异，则用 Tukey’s 检验方法进行多重比较，当 $P<0.05$ 时表示具有显著性差异。

2 结 果

2.1 饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼生长性能的影响

由表 3 可知，各组鲈鱼 SR 均在 95.00%~100.00%之间，不同组之间无显著差异($P>0.05$)。

随着饲料中 ALA 含量的升高，大规格鲈鱼的 WGR 与 SGR 均呈现先上升后下降的趋势，A3 组 WGR 与 SGR 显著高于 A1、A2 和 A6 组(P<0.05)，与 A4 和 A5 组无显著性差异(P>0.05)。在饲料 ALA 含量为 0.06%~2.03%时，大规格鲈鱼的 FE 随着饲料中 ALA 含量的升高显著升高(P<0.05)，之后呈现下降趋势，并在 A3 组达到最大值。大规格鲈鱼的 HSI 与 VSI 受到饲料 ALA 含量的显著影响(P<0.05)，均在 A6 组达到最大值，且显著高于 A1 组(P<0.05)。大规格鲈鱼的 CF 在不同组之间无显著差异(P>0.05)。

表 3　饲料亚麻酸含量对大规格鲈鱼生长性能的影响

Table 3　Effects of dietary ALA content on growth performance of large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

项目	组别 Groups						*P* 值
Items	A1	A2	A3	A4	A5	A6	*P*-value
初始体重 IBW/g	208.12±0.33	207.85±0.20	207.58±0.35	207.43±051	208.05±0.22	207.57±0.20	0.692
终末体重 FBW/g	393.59±6.40^{bc}	400.06±6.45^{bc}	432.86±4.13^{a}	419.20±6.26^{ab}	416.53±6.91^{ab}	379.42±5.56^{c}	0.001
存活率 SR/%	98.33±1.67	96.67±1.67	95.00±2.89	96.67±1.67	100.00±0.00	95.00±2.89	0.506
增重率 WGR/%	89.11±2.83^{bc}	92.48±3.27^{bc}	108.52±1.78^{a}	102.11±3.55^{ab}	100.21±3.47^{ab}	82.80±2.79^{c}	0.001
特定生长率 SGR/(%/d)	0.75±0.01^{cd}	0.78±0.02^{bcd}	0.87±0.01^{a}	0.84±0.02^{ab}	0.82±0.02^{abc}	0.72±0.02^{d}	0.001
饲料效率 FE	0.48±0.01^{d}	0.58±0.02^{bc}	0.67±0.02^{a}	0.64±0.01^{ab}	0.64±0.02^{ab}	0.52±0.02^{cd}	<0.001

肝体指数 HSI/%	1.00±0.03^{d}	1.07±0.01^{cd}	1.15±0.03^{bc}	1.18±0.03^{ab}	1.25±0.02^{ab}	1.28±0.02^{a}	<0.001
脏体指数 VSI/%	8.43±0.07^{d}	9.48±0.06^{c}	11.25±0.04^{b}	11.49±0.16^{ab}	11.56±0.05^{ab}	11.78±0.15^{a}	<0.001
肥满度 CF/%	1.57±0.05	1.54±0.04	1.57±0.07	1.65±0.05	1.67±0.02	1.62±0.04	0.379

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

由图 1 可知，在本试验条件下，以饲料 ALA 含量（x）为横坐标，以大规格鲈鱼 SGR（y）为纵坐标，利用二次曲线回归分析得到回归方程 y=-0.019 8x^2+0.100 1x+0.730 2（R^2=0.892 9）。由回归方程得出，当 ALA 含量为饲料干重的 2.53%时，大规格鲈鱼的 SGR 获得最高值。由图 2 可知，以饲料 ALA 含量（x）为横坐标，以大规格鲈鱼 FE（y）为纵坐标，利用二次曲线回归分析得到回归方程 y=-0.026 3x^2+0.143 2x+0.473 9（R^2=0.948 3）。由回归方程得出，当 ALA 含量为饲料干重的 2.72%时，大规格鲈鱼的 FE 获得最高值。

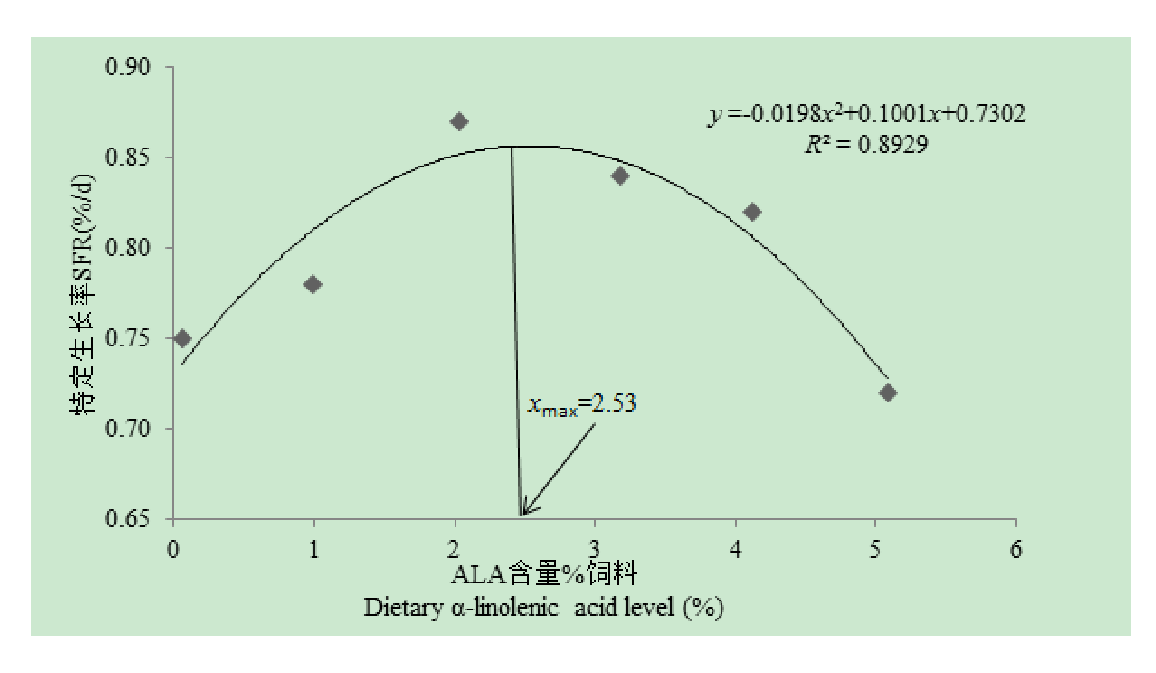


图 1　大规格鲈鱼特定生长率与饲料亚麻酸含量的二次曲线模型

Fig.1　Quadratic curve model of dietary ALA content and SGR of large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

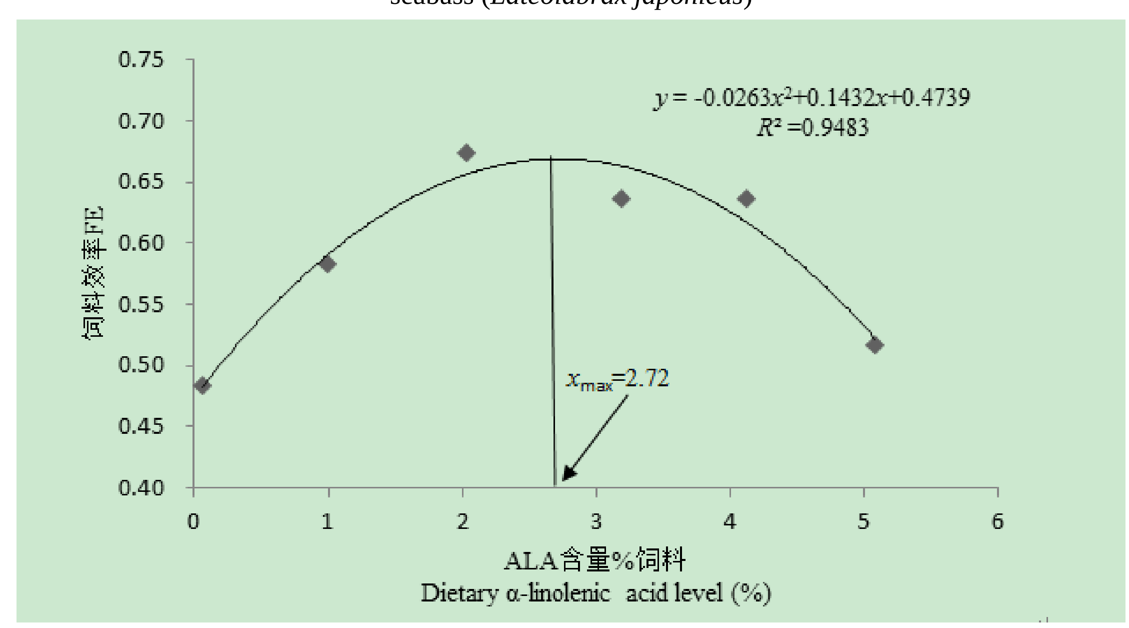


图 2　大规格鲈鱼饲料效率与饲料亚麻酸含量的二次曲线模型

Fig.2　Quadratic curve model of dietary ALA content and FE of large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

2.2　饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼鱼体和组织常规组成的影响

由表 4 可知，大规格鲈鱼鱼体粗蛋白质含量随着饲料中 ALA 含量升高表现为逐渐下降的趋势，A5、A6 组鱼体粗蛋白质含量显著低于 A1 组(P<0.05)；随着饲料中 ALA 含量的升高，大规格鲈鱼鱼体粗脂肪含量呈现增加趋势，且表现为 A5、A6 组显著高于 A1、A2、A3 和 A4 组(P<0.05)；不同组之间鱼体的水分与粗灰分含量无显著差异(P>0.05)。

同时结果显示，A3 组肝脏粗脂肪含量显著低于 A1 和 A2 组(P<0.05)，除此之外，各组间肝脏粗脂肪含量均无显著差异(P>0.05)；肌肉粗脂肪含量随着饲料中 ALA 含量升高先降低后升高，并表现为 A4 组显著高于 A1 和 A2 组(P<0.05)。

表 4 饲料亚麻酸含量对鲈鱼鱼体及组织常规组成的影响

Table 4 Effects of dietary ALA content on body and tissue conventional composition of large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) %

项目	组别 Groups						*P* 值
Items	A1	A2	A3	A4	A5	A6	*P*-value
鱼体水分 Body moisture	68.00±1.51	70.60±0.49	69.70±1.36	70.25±0.08	68.48±1.27	68.71±0.37	0.425
鱼体粗蛋白质 Body CP	18.01±0.14^{a}	17.13±0.44^{ab}	17.09±0.25^{ab}	16.87±0.24^{ab}	16.46±0.22^{b}	16.32±0.32^{b}	0.015
鱼体粗脂肪 Body EE	7.06±0.11^{b}	7.12±0.13^{b}	7.65±0.15^{b}	7.69±0.17^{b}	9.19±0.32^{a}	9.99±0.19^{a}	<0.001
鱼体粗灰分 Body ash	4.49±0.22	4.57±0.15	4.34±0.26	4.43±0.01	4.44±0.08	4.52±0.19	0.950
肝脏粗脂肪 Liver EE	14.05±0.13^{a}	14.07±0.15^{a}	12.78±0.23^{b}	12.88±0.12^{ab}	13.53±0.19^{ab}	13.90±0.49^{ab}	0.009
肌肉粗脂肪	0.92±0.03	0.96±0.06	1.04±0.05	1.14±0.03	1.12±0.05	1.06±0.02	0.008

Muscle EE	^{c}	^{bc}	^{abc}	^{a}	^{ab}	^{abc}

2.3 饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼抗氧化指标的影响

由表 5 可知，血清中 SOD 活性随着饲料中 ALA 含量的升高呈先升高后降低的趋势，在 A3 组达到最大值，与 A4 组无显著差异（P>0.05），但显著高于其他 4 组(P<0.05)；肝脏中 SOD 活性同血清 SOD 活性具有相同的变化趋势。

随着饲料中 ALA 含量的升高，血清中 MDA 含量呈先下降后上升趋势，且 A3 与 A4 组血清中 MDA 含量显著低于 A1 和 A6 组(P<0.05)；同时，肝脏中 MDA 含量在 A3 组达到最低，除与 A4 组无显著差异(P>0.05)外，显著低于其他各组(P<0.05)。

表 5 饲料亚麻酸含量对大规格鲈鱼抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of dietary ALA content on antioxidant indices of large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

项目 Items	组别 Groups A1	A2	A3	A4	A5	A6	*P* 值 *P*-value
血清超氧化物歧化酶活性 Serum SOD activity/(U/mL)	72.05±0.09^{cd}	75.65±1.33^{cd}	88.16±0.55^{a}	84.28±2.07^{ab}	78.60±2.42^{bc}	70.02±0.89^{d}	0.003
肝脏超氧化物歧化酶活性 Liver SOD activity/(U/mg prot)	32.63±0.74^{c}	34.83±0.89^{bc}	38.80±0.46^{a}	36.66±0.78^{ab}	34.58±0.45^{bc}	32.62±1.31^{c}	0.001
血清丙二醛含量 Serum MDA content/(nmol/mL)	33.86±1.54^{a}	28.14±2.11^{ab}	18.47±1.43^{c}	19.20±2.85^{bc}	27.72±1.60^{bc}	32.20±1.91^{a}	0.007
肝脏丙二醛含量 Liver MDA content/(nmol/mg·prot)	1.85±0.15^{ab}	1.82±0.09^{ab}	1.18±0.02^{c}	1.44±0.08^{bc}	1.97±0.14^{a}	2.07±0.10^{a}	<0.001

2.4 饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼血清生化指标的影响

由表 6 可知，随着饲料中 ALA 含量的升高，血清 GOT、GPT 活性均呈现先降低后升高的趋势，且 A3 和 A4 组血清 GOT 活性显著低于其他各组(P<0.05)，A3、A4 和 A5 组血清 GPT 活性显著低于其他各组(P<0.05)。大规格鲈鱼血清 AKP 活性在各组间均无显著差异(P>0.05)。

同时，试验结果显示当饲料中 ALA 含量从 0.06%升高到 4.12%时，血清 CHOL 和 TG 含量呈显著上升(P<0.05)，分别从 4.76 nmol/L 升高到 6.28 nmol/L 和从 3.71 nmol/L 升高到 4.86 nmol/L；当 ALA 含量继续升高至 5.08%时，血清 CHOL 和 TG 含量显著下降(P<0.05)，分别下降到 4.79 和 3.99 nmol/L。此外，血清 HDL-C 含量随着饲料中 ALA 含量的升高呈现先升高后降低的趋势，并表现为 A3、A4 和 A5 组之间差异不显著(P>0.05)，但均显著高于其他组(P<0.05)。血清 LDL-C 含量各组间无显著差异(P>0.05)。

表 6 饲料亚麻酸含量对大规格鲈鱼血清生化指标的影响

Table 6 Effects of dietary ALA content on serum biochemical indices of large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

项目 Items	组别 Groups						*P* 值 *P*-value
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	22.13±0.20^{a}	19.20±0.31^{bc}	15.30±0.36^{d}	15.43±0.35^{d}	17.50±0.36^{c}	19.97±0.52^{b}	0.006
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	12.10±0.42^{a}	12.13±0.24^{a}	7.20±0.49^{b}	7.93±0.39^{b}	8.20±0.12^{b}	12.60±0.52^{a}	<0.001
碱性磷酸酶	21.63±0.19	21.53±0.27	20.57±0.32	20.73±0.26	21.37±0.47	21.67±0.65	0.260

AKP/(U/L)							
胆固醇 CHOL/(nmol/L)	4.76±0.05^{e}	5.40±0.01^{d}	5.71±0.04^{c}	6.11±0.02^{b}	6.28±0.02^{a}	4.79±0.02^{e}	<0.001
甘油三酯 TG/(nmol/L)	3.71±0.02^{e}	4.13±0.02^{d}	4.43±0.02^{c}	4.68±0.03^{b}	4.86±0.03^{a}	3.99±0.06^{d}	0.001
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(nmol/L)	2.51±0.03^{d}	3.03±0.01^{b}	3.23±0.02^{a}	3.20±0.03^{a}	3.18±0.01^{a}	2.78±0.02^{c}	0.007
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(nmol/L)	1.03±0.05	1.09±0.06	1.10±0.06	0.99±0.09	0.90±0.06	0.90±0.03	0.153

3 讨　论

3.1　饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼生长性能的影响

本试验结果表明，饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼的 SGR 与 FE 均产生了一定的影响，当饲料中 ALA 含量过高或过低时，会对大规格鲈鱼的生长产生抑制作用，并且降低饲料的利用率，这表明饲料中适宜含量的 ALA 对大规格鲈鱼的生长性能和机体健康具有重要的作用。这在其他一些海水鱼和广盐性鱼类的研究中也得到了证实。例如：Mourente 等[5]在欧洲鲈鱼的研究中指出，当饲料中添加 10.6%的亚麻籽油时，试验鱼获得了良好的生长效果；Xu 等[15]在鲈鱼幼鱼的试验中指出，当饲料中添加 3%的亚麻油时，鲈鱼幼鱼得到最佳的生长效果；彭墨等[10]研究报道，饲料中 7.50%的鱼油全部被亚麻籽油替代后，大菱鲆幼鱼仍能获得较好的生长性能；Friesen 等[16]研究表明，饲料添加 10%的冷榨亚麻油时，裸盖鱼的生长与对照

组相比无显著变化。而 Bell 等[17]在大菱鲆幼鱼中的研究中显示，当饲料中亚麻油添加量为19%时，试验鱼生长受到抑制；Tu 等[18]的研究表明，饲料中添加 14%富含亚麻酸的植物油时，尖吻鲈的生长明显降低。由此可以推断，在饲料中添加适量的亚麻酸能够对部分海水鱼和广盐性鱼类的生长产生一定的促进作用；另外，由于鱼种的差异、规格的不同及养殖环境不同等因素的影响，使得不同鱼类对亚麻酸的需求产生差异。

3.2 饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼抗氧化能力的影响

据报道，SOD 能够催化超氧化阴离子生成过氧化氢，清除超氧阴离子(O_2^-)，保护机体健康，在机体的氧化与抗氧化中起着的关键作用[19]。本研究中，随着饲料中 ALA 含量的升高，血清与肝脏中 SOD 活性呈先升高后降低的趋势，并且 A3 和 A4 组显著高于 A1 和 A6 组(P<0.05)，这说明饲料中适量的 ALA 能够提高鱼体的抗氧化能力，这与 Kiron 等[20]和关勇[9]的研究结果一致，并且潘瑜等[12]研究发现，亚麻油在机体的抗氧化能力方面与鱼油的作用相当。但饲料中过量的 ALA 会导致血清与肝脏中 SOD 活性降低，鲈鱼的免疫反应会受到一定的损伤，这与 Montero 等[21]在金头鲷和 Xu 等[15]在鲈鱼幼鱼上的研究结果一致，产生这一结果的原因可能是因为过高的 ALA 含量使得鱼体肝脏脂肪沉积过多，导致肝脏健康受到了损伤。

另外，MDA 是自由基引发脂质过氧化反应后得到的最终分解产物，其含量越高说明机体受到的损害越严重。血清与肝脏中 MDA 含量的变化正好与 SOD 活性相对应，A6 组血清与肝脏中 MDA 含量显著高于 A3 和 A4 组，造成这一结果的原因可能是为 ALA 含量过高引起细胞的过多氧化应激反应，影响了鱼体的免疫系统，从而导致 MDA 含量偏高。这一结果与关勇[9]在罗非鱼中的研究结果相似。在本试验的生长性能结果中可知，大规格鲈鱼对 ALA 的需求量为 2.53%~2.72%，同时在这个范围内，血清与肝脏中 SOD 活性较高、MDA 含量较低，从而鱼体也获得较好的抗氧化能力。

3.3 饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼鱼体常规组成的影响

众多研究指出，饲料组成对鱼体常规组成具有一定的影响[22-23]。本试验发现，随着饲料中 ALA 含量的升高，鱼体粗脂肪含量增加，粗蛋白质含量下降，这表明饲料中 ALA 含量升高会导致大规格鲈鱼鱼体脂肪沉积，推测产生这一结果的原因可能是饲料 ALA 含量对肝脏脂肪酸合成和氧化相关基因的表达产生了不同的影响，从而使得鱼体常规组成受到影响。本研究结果同 Bjerkeng 等[24]在大西洋鲑、王爱民等[25]在吉富罗非鱼、Xu 等[15]在鲈鱼幼鱼、关勇[9]在吉富罗非鱼上的研究结果相似；同时，另有研究发现 ALA 不会影响鳟鱼[26]、大比目鱼[27]、大菱鲆[28]的常规组成。上述研究结果存在差异的原因可能与饲料中 ALA 含量、试验鱼种类与鱼体规格不同及基础饲料配方存在差异有关。

3.4 饲料 ALA 含量对大规格鲈鱼血清生化指标的影响

血清中 GPT 和 GOT 活性的大小常作为评价肝脏健康的酶学指标[29-30]，同时，这 2 种转氨酶在机体代谢中起着重要作用，当肝脏功能受到损害时，细胞中的转氨酶就会大量地释放到血清中，使得血清中 GPT 和 GOT 活性得到大幅度提升[31]。本试验结果表明，当饲料 ALA 含量过低或过高时，血清 GPT 和 GOT 活性均显著高于生长良好的 A3 和 A4 组，这也说明饲料中过高或过低的 ALA 含量均会对大规格鲈鱼的肝脏健康产生不良影响，进而影响其生长性能。这与前人在大菱鲆[10]、墨瑞鳕[13]等上的研究中结果一致。

血清 TG、CHOL、HDL-C 和 LDL-C 含量也同样是临床上用来反映血脂代谢功能的常用指标[32-33]。血液中，高密度脂蛋白能够将血浆中的胆固醇以 HDL-C 的形式运回肝脏，所以血清内 HDL-C 含量与心血管疾病呈负相关，低密度脂蛋白则负责将胆固醇以 LDL-C 的形式由肝脏运送至血液。本试验结果显示，当饲料中 ALA 含量从 0.06%升至 4.12%时，血清 TG、CHOL 含量均呈现显著升高，当 ALA 含量再进一步升高至 5.08%时，血清中 TG、CHOL 含量显著降低，由此可以推断在一定 ALA 含量范围内，血清中 TG、CHOL 含量会随着饲料中 ALA 含量的升高而增加，这同关勇[9]在吉富罗非鱼中的研究结果相似。另外，本试验结果也表明，相对于低 ALA 含量饲料，高 ALA 含量饲料能够降低血清中 TG、CHOL 含量，

表明亚麻油具有降低动物血脂的能力[34]。另外，也可推测是因为高含量的 ALA 损伤了鱼体的肝脏功能，造成肝脏脂肪代谢系统紊乱，使得血清中 TG、CHOL 含量降低，值得关注的是其他血清生化指标也证明高含量的 ALA 在一定程度上对肝脏健康造成负面影响，同这一推测结果相符。本试验结果还显示，血清中 HDL-C 含量随饲料中 ALA 含量的升高呈先上升后降低趋势，这同姚林杰等[35]在团头鲂中的研究结果相一致；同时，当饲料中 ALA 含量在 2.03%~4.12%时，血清中 HDL-C 含量显著高于 A1 和 A6 组，这也说明饲料中适宜含量的 ALA 有利于鱼体的肝脏和心血管的健康。

4 结 论

在本试验条件下，饲料中适宜含量(2.03%~3.18%)的 ALA 对大规格鲈鱼的生长具有促进作用；同时，在该 ALA 含量下，鲈鱼也具有较高的抗氧化能力及肝脏健康水平。以 SGR 和 FE 作为评价指标，经二次曲线回归分析得出 207.77~406.94 g 的鲈鱼饲料中 ARA 的最适含量分别为饲料干重的 2.53%和 2.72%。

参考文献：

[1] 吕耀平,成永旭,吴旭干.水产养殖中亚麻酸应用的研究进展[J].水产科技情报,2007,34(2):68–72.

[2] 刘穗华,曹俊明,黄燕华,等.饲料中不同亚麻酸/亚油酸比对凡纳滨对虾幼虾生长性能和脂肪酸组成的影响[J].动物营养学报,2010,22(5):1413–1421.

[3] TOCHER D R,AGABA M,HASTINGS N,et al.Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J].Fish Physiology and Biochemistry,2001,24(4):309–320.

[4] OLSEN R E,HENDERSON R J,MCANDREW B J.The conversion of linoleic-acid and linolenic acid to longer chain polyunsaturated fatty-acids by tilapia (*Oreochromis nilotica*) *in vivo*[J].Fish Physiology and Biochemistry,1990,8(3):261–270.

[5] MOURENTE G,DICK J R,BELL J G,et al.Effect of partial substitution of dietary fish oil by vegetable oils on desaturation and β-oxidation of [1–^{14}C]18:3*n*-3 (LNA) and [1–^{14}C]20:5*n*-3 (EPA) in hepatocytes and enterocytes of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.)[J].Aquaculture,2005,248(1/2/3/4):173–186.

[6] MILLER M R,NICHOLS P D,CARTER C G.Replacement of dietary fish oil for Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) with a stearidonic acid containing oil has no effect on omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid concentrations[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,2007,146(2):197–206.

[7] 姜召山,王锐,刘辉宇.亚麻酸对鲫鱼生长性能和鱼体成分的影响[J].粮食与饲料工业,2010(6):56–58.

[8] BOGUT I,HAS-SCHÖN E,ČAČIĆ M,et al.Linolenic acid supplementation in the diet of European catfish (*Silurus glanis*):effect on growth and fatty acid composition[J].Journal of Applied Ichthyology,2002,18(1):1–6.

[9] 关勇.亚麻籽油对吉富罗非鱼生长、体组成、脂质代谢及抗氧化能力的影响[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2014:88–100.

[10] 彭墨,徐玮,麦康森,等.亚麻籽油替代鱼油对大菱鲆幼鱼生长、脂肪酸组成及脂肪沉积的影响[J].水产学报,2014,38(8):1131–1139.

[11] SMITH D M,HUNTER B J,ALLAN G L,et al.Essential fatty acids in the diet of silver perch (*Bidyanus bidyanus*):effect of linolenic and linoleic acid on growth and survival[J].Aquaculture,2004,236(1/2/3/4):377–390.

[12] 潘瑜,陈文燕,林仕梅,等.亚麻油替代鱼油对鲤鱼生长性能、肝胰脏脂质代谢及抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2014,26(2):420–426.

[13] FRANCIS D S,TURCHINI G M,JONES P L,et al.Growth performance,feed efficiency and

fatty acid composition of juvenile Murray cod,*Maccullochella peelii peelii*,fed graded levels of canola and linseed oil[J].Aquaculture Nutrition,2007,13(5):335–350.

[14] MOURENTE G,TOCHER D R,DIAZ-SALVAGO E,et al.Study of the n-3 highly unsaturated fatty acids requirement and antioxidant status of *Dentex dentex* larvae at the *Artemia* feeding stage[J].Aquaculture,1999,179(1/2/3/4):291–307.

[15] XU H G,ZHANG Y J,WANG J,et al.Replacement of fish oil with linseed oil or soybean oil in feeds for Japanese seabass,*Lateolabrax japonicus*:effects on growth performance,immune response,and tissue fatty acid composition[J].Journal of the World Aquaculture Society,2015,46(4):349–362.

[16] FRIESEN E N,BALFRY S K,SKURA B J,et al.Evaluation of cold-pressed flaxseed oil as an alternative dietary lipid source for juvenile sablefish (*Anoplopoma fimbria*)[J].Aquaculture Research,2013,44(2):182–199.

[17] BELL J G,TOCHER D R,MACDONALD F M,et al.Effects of diets rich in linoleic (18:2n-6) and α-linolenic (18:3n-3) acids on the growth,lipid class and fatty acid compositions and eicosanoid production in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J].Fish Physiology and Biochemistry,1994,13(2):105–118.

[18] TU W C,MÜHLHAUSLER B S,JAMES M J,et al.Dietary alpha-linolenic acid does not enhance accumulation of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in barramundi (*Lates calcarifer*)[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,2013,164(1):29–37.

[19] HALLIWELL B,GUTTERIDGE J M C.Free radicals in biology and medicine[M].3rd ed.Oxford:Oxford University Press,1999.

[20] KIRON V,FUKUDA H,TAKEUCHI T,et al.Essential fatty acid nutrition and defence

mechanisms in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1995,111(3):361–367.

[21] MONTERO D,MATHLOUTHI F,TORT L,et al.Replacement of dietary fish oil by vegetable oils affects humoral immunity and expression of pro-inflammatory cytokines genes in gilthead sea bream *Sparus aurata*[J].Fish & Shellfish Immunology,2010,29(6):1073–1081.

[22] YOSHIKAWA T,SHIMANO H,YAHAGI N,et al.Polyunsaturated fatty acids suppress sterol regulatory element-binding protein 1c promoter activity by inhibition of liver X receptor (LXR) binding to LXR response elements[J].Journal of Biological Chemistry,2002,277(3):1705–1711.

[23] HANSEN A C,ROSENLUND G,KARLSEN Ø,et al.Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) Ⅰ—effects on growth and protein retention[J].Aquaculture,2007,272(1/2/3/4):599–611.

[24] BJERKENG B,REFSTIE S,FJALESTAD K T,et al.Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet[J].Aquaculture,1997,157(3/4):297–309.

[25] 王爱民,韩光明,韦信键,等.吉富罗非鱼*FAS*基因的克隆及再投喂和饲料脂肪水平对其表达的影响[J].水产学报,2010,34(7):1113–1120.

[26] ARZEL J,LOPEZ F X M,MÉTAILLER R,et al.Effect of dietary lipid on growth performance and body composition of brown trout (*Salmo trutta*) reared in seawater[J].Aquaculture,1994,123(3/4):361–375.

[27] REGOST C,ARZEL J,ROBIN J,et al.Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*):1.Growth performance,flesh fatty acid profile,and lipid metabolism[J].Aquaculture,2003,217(1/2/3/4):465–482.

[28] BENEDITO-PALOS L,SAERA-VILA A,CALDUCH-GINER J A,et al.Combined replacement of fish meal and oil in practical diets for fast growing juveniles of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.):networking of systemic and local components of GH/IGF axis[J].Aquaculture,2007,267(1/2/3/4):199–212.

[29] 冯健,刘永坚,田丽霞,等.草鱼实验性镉中毒对肝胰脏、肾脏和骨骼的影响[J].水产学报,2004,28(2):195–200.

[30] 王丽宏,叶元土,张宝彤,等.几种养殖鱼类血清转氨酶活性参考值的探讨[J].饲料工业,2011,32(24):18–20.

[31] 张璐,李静,谭芳芳,等.饲料中不同维生素 A 含量对花鲈生长和血清生化指标的影响[J].水产学报,2015,39(1):88–96.

[32] 沈竑,张勤,徐韧,等.石油污染对莫桑比克罗非鱼血清酶活性的影响[J].海洋学报,1998,20(4):60–64.

[33] 何志谦.人类营养学[M].2 版.北京:人民卫生出版社,2000:95–123.

[34] 双金,黎明,敖力格日玛,等.亚麻籽对肉羊血清脂蛋白和脂肪代谢相关生化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(4):918–929.

[35] 姚林杰,叶元土,蔡春芳,等.团头鲂幼鱼饲料中 α-亚麻酸、亚油酸的适宜含量[J].动物营养学报,2015,27(3):766–774.

Effects of Dietary α-Linolenic Acid Content on Growth Performance, Antioxidant Indices and Serum Biochemical Indices of Large Size Japanese Seabass (*Lateolabrax japonicus*)

WANG Chengqiang[1,2] XU Houguo[1] LIANG Mengqing[1*] ZHENG Keke[1] LIU Xi[1,2]

(1. *Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao* 266071, *China*; 2. *College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai*

*Corresponding author, professor, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn (责任编辑 菅景颖)

201306, *China*)

Abstract: A 12-week feeding experiment was conducted to evaluate the effects of effects of dietary α-linolenic acid (ALA) content on growth performance, antioxidant indices and serum biochemical indices of large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*), in order to get the optimal dietary ALA content for large size Japanese seabass. Six isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated with dietary ALA content of 0.06%, 0.99%, 2.03%, 3.18%, 4.12% and 5.08% dry weight by adding perilla oil in a basal diet, respectively. Japanese seabass with the initial bodyweight of (207.77±0.64) g were fed with experimental diets, and each diet had 3 replicates with 20 fish in each replicate. The results showed as following: 1) the specific growth rate (SGR) and feed efficiency (FE) increased at first and then decreased with the increase of dietary ALA content, and reached their peaks at the 2.03% ALA group, but no significant differences were found in SGR and FE among 2.03% and 3.18% ALA groups ($P>0.05$). The highest values of hepatosomatic index (HSI) and viscerasomatic index (VSI) were found in 5.08% ALA group, and significantly higher than those in 0.06% ALA group ($P<0.05$). 2） The body ether extract content increased with increase of dietary ALA content, while the body crude protein content increased at first and then decreased with the increase of dietary ALA content. The body crude protein content in 4.12% and 5.08% ALA groups was significantly lower than that in 0.06% ALA group ($P<0.05$), while the body ether extract content in 4.12% and 5.08% ALA groups was significantly higher than that in 0.06%, 0.99%, 2.03% and 3.18% ALA groups ($P<0.05$). No significant differences were found in body moisture and ash contents among groups （$P>0.05$）. 3) The activity of superoxide dismutase (SOD) in serum and liver in 2.03% ALA group had no significant difference compared with 3.18% ALA group ($P>0.05$), but significantly higher than that in 0.06% and 5.08% ALA groups ($P<0.05$). The malondialdehyde (MDA) content in serum in 2.03% and 3.18% ALA

groups was significantly lower than that in 0.06% and 5.08% ALA groups ($P<0.05$), and the MDA content in liver in 2.03% ALA groups was the lowest, which significantly lower than that in other groups except 3.18% ALA group ($P<0.05$). 4) The activities of glutamic-oxaloacetic transaminase (GOT) and glutamic-pyruvic transaminase (GPT) in serum in 2.03% ALA groups was the lowest, which significantly lower than those in 0.06% and 5.08% ALA groups ($P<0.05$). The contents of triglycerides (TG) and cholesterol (CHOL) in serum reached their peaks in 4.12% ALA group ($P<0.05$), and significantly higher than those in 0.06% ALA group ($P<0.05$). The high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) content in serum firstly increased and then showed a declining tendency with the increase of dietary ALA content, and that in 2.03%, 3.18% and 4.12% ALA groups was significantly higher than that in other groups ($P<0.05$). These results indicate that optimal dietary ALA content can improve the growth of large size Japanese seabass, and increase the antioxidant ability and liver health level. The broken-line model analysis based on SGR and FE as evaluation indices indicate that the optimal dietary ALA content is 2.53% and 2.72% dry weight of diet for Japanese seabass (body weight: 207.77 to 406.94 g), respectively.

Key words: large size Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*); α-linolenic acid; growth performance; serum biochemical indices; antioxidant ability